



取食和交配对苹小吉丁飞行能力的影响

马志龙¹, 彭 彬¹, 卡德艳·卡德尔¹, 阿地力·沙塔尔^{1,*}, 张元明²

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要:【目的】苹小吉丁 *Agrilus mali* 是一种严重危害苹果树的钻蛀性害虫。本研究旨在明确苹小吉丁的飞行扩散能力及其飞行能力产生影响的因子。【方法】以 SUN-FL 型智能飞行磨系统对苹小吉丁不同日龄雌雄成虫的飞行能力进行了测定,同时评价了取食和交配情况对其飞行能力的影响。【结果】苹小吉丁飞行能力均随日龄的增加先增强后逐渐降低,初羽化的成虫飞行能力最低,11 日龄成虫的飞行能力最强。雌成虫飞行能力强于雄成虫。在 24 h 内雌雄成虫的最长飞行距离分别为 0.4165 和 0.3559 km;最长飞行时间分别为 0.4582 和 0.4873 h;最大飞行速度分别为 2.4639 和 1.8561 km/h。取食的 3 日龄雌成虫的平均飞行距离和平均飞行时间分别为 0.047 km 和 0.048 h,雄成虫的分别为 0.044 km 和 0.042 h;而未取食的雌成虫平均飞行距离和平均飞行时间仅分别为 0.016 km 和 0.013 h,雄成虫的仅分别为 0.013 km 和 0.012 h。交配对飞行能力的影响存在性别差异,已交配雌成虫的飞行能力要强于未交配雌成虫的,而已交配雄成虫的飞行能力却低于未交配雄成虫的。【结论】日龄对苹小吉丁成虫的飞行能力影响作用显著。取食显著提高苹小吉丁雌雄成虫的飞行能力,交配显著提高雌成虫飞行能力。

关键词: 苹果小吉丁; 飞行能力; 飞行速度; 飞行距离; 飞行时间; 飞行磨; 取食; 交配

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2020)08-0992-07

Effects of feeding and mating on the flight capacity of *Agrilus mali* (Coleoptera: Buprestidae)

MA Zhi-Long¹, PENG Bin¹, CADDEY Kader¹, ADIL Sattar^{1,*}, ZHANG Yuan-Ming² (1. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: 【Aim】*Agrilus mali* is a burrowing pest that can wreak havoc on apple trees. The study aims to determine the flight dispersion capability of *A. mali* and the key factors affecting its flight capability. 【Methods】The flight capabilities of different day-old male and female adults of *A. mali* were measured by SUN-FL intelligent flight grinding system, and the effects of feeding and mating conditions on their flight performance were also evaluated. 【Results】The flight capability of *A. mali* adults increased and then declined with the increase of age. The newly-emerged adults had the lowest flight capacity, and the 11-day-old adults had the strongest flight capability. Females had a greater flight capacity than males. The maximum flight distance of female and male adults within 24 h was 0.4165 and 0.3559 km, the maximum flight duration was 0.4582 and 0.4873 h, and the maximum flight speeds were 2.4639 and 1.8561 km/h, respectively. The average flight distance and duration of the 3-day-old female adults with feeding were 0.047 km and 0.048 h, respectively, and those of males were 0.044 km and 0.042 h,

respectively, while the average flight distance and duration of the 3-day-old female adults without feeding were only 0.016 km and 0.013 h, and those of males were only 0.013 km and 0.012 h, respectively. Mating had different effects on the flight capacities of female and male adults. The flight capacity of the mated females was better than that of the unmated females. However, the flight capacity of the mated males was lower than that of the unmated males. 【Conclusion】 The flight capacity of *A. mali* adults is heavily dependent on their age. Feeding can significantly improve the flight capacities of both male and female adults of *A. mali*, and mating can significantly improve the flight capacity of female adults.

Key words: *Agrilus mali*; flight capability; flight speed; flight distance; flight duration; flight mill; feeding; mating

苹小吉丁 *Agrilus mali* 国外分布于俄罗斯和东亚等国,在我国主要分布在北部以及西北地区,主要危害苹果、海棠、桃等经济果树(崔晓宁等, 2015)。苹小吉丁传入伊犁地区后在山区野果林及平原栽培果园迅速扩散蔓延,对新疆苹果产业健康发展造成了极大威胁。苹小吉丁以幼虫钻入韧皮部和木质部进行取食危害,化蛹于木质部,成虫羽化后在树皮上咬一“D”形羽化孔后爬出枝条。危害苹果树初期可造成大量的枝条干枯,大暴发时常面临毁园的威胁(李孟楼和张正青, 2017; 阎雄飞等, 2017);成虫喜欢在晴天或气温稍高的时候绕树冠飞行,阴雨天或气温较低时常静伏于枝叶上(崔晓宁等, 2015)。在饲喂苹果叶片的条件下苹小吉丁雄虫平均存活 9~14 d,雌虫平均存活 15~22 d(李孟楼等, 2017)。在饥饿条件下,苹小吉丁雄虫在第 3 天开始出现死亡高峰,雌虫于第 4 天出现死亡高峰(李孟楼等, 2017)。苹小吉丁通过苗木调运传入新疆伊犁州(季英等, 2004),人为传播是主要传播因素,但也会依靠自身的飞行在林间扩散蔓延。昆虫自身的传播主要与其飞行能力有关(Taylor *et al.*, 2010)。飞行能力是昆虫迁飞、扩散等行为的重要参考指标。飞行距离、飞行时间和飞行速度是判断昆虫飞行能力强弱的重要参数。这些参数一般依靠昆虫飞行磨进行测量,这为评价昆虫的飞行能力提供了参考(王世磊, 2011)。利用飞行磨对吉丁类昆虫飞行能力测定已有相关研究,如对杨十斑吉丁 *Melanophila picta* 和花曲柳窄吉丁 *Agrilus planipennis* 不同性别、交配状态和取食情况条件下成虫的飞行能力的研究已有报道(Taylor *et al.*, 2010; 孙栋等, 2014; 王辉, 2014)。

苹小吉丁传入伊犁地区后在山区野果林及平原栽培果园迅速扩散蔓延,对新疆苹果产业健康发展造成了极大威胁。但关于苹小吉丁飞行扩散能力如何,现在还尚不清楚。因此,本研究以采自新疆伊犁

地区的苹小吉丁为材料,对不同性别和不同日龄苹小吉丁成虫的飞行能力进行了测定,同时探究了影响飞行能力的重要因素,研究结果可为苹小吉丁潜在扩散区域预测和防控工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 试虫来源

试虫采自新疆巩留县综合农场栽培果园及库尔德宁镇、七十二团八连和哈拉布拉乡萨哈野果林分布区,于 6 月中下旬开始将带有苹小吉丁老熟幼虫、蛹及未羽化成虫的苹果枝条从基部截取,装入带有透气窗的塑料罐中。塑料罐为透明 PET 材质(罐底宽 15.5 cm,高 24.0 cm,口径 11.2 cm),罐子底部铺一层厚 3~5 cm 的湿润细沙,将苹果枝条插入细沙以保持水分。于罐体四面各截取一个直径约 10 cm 的圆形窗口,窗口粘贴 100 目的纱网作为通风透气口,同时防止羽化成虫逃逸。将羽化罐置于通风透光处进行自然羽化,羽化成虫按雌雄分别收集装入塑料饲养瓶中,瓶口贴明羽化时间。

1.2 测试仪器

通过使用 SUN-FL 型智能昆虫飞行信息系统即飞行磨(北京鹏程电子科技中心生产)对苹小吉丁虫潜在飞行能力进行测定,该系统由飞行磨采集控制主机、飞行磨盘和 PC 机软件组成。

1.3 飞行能力测定

1.3.1 飞行能力吊飞测试方法:在测试前将飞行磨吊臂取下,将试虫(不麻醉)前胸背板涂抹少许 502 胶或粘虫胶,轻轻固定在飞行磨吊臂一端的吊针上保持试虫与吊杆垂直,调整吊臂平衡,并使试虫飞行方向与飞行轨迹相切。试虫固定后用手轻触或吹气,查看试虫是否能够正常展翅飞行,如能正常飞行,将飞行磨吊臂安装回飞行轴,然后打开飞行测试软件,设置参数,让试虫绕中轴进行飞行。每次测试

24 h,测试计算试虫的飞行速度、飞行持续时间和飞行距离(丁吉同等, 2014; 丁吉同, 2015)。测试环境温湿度分别由三菱重工恒温恒湿控制机组(型号:MDC265A/MAUC265)控制在 $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 和 $35\% \sim 45\% \text{ RH}$ 。光强为 $600 \sim 700 \text{ lx}$,光周期为 14L: 10D。

1.3.2 苹小吉丁不同日龄成虫飞行能力测定:按 1.3.1 节的吊飞测试方法,分别取羽化后 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13 和 15 d 共 12 个日龄的成虫进行测试,每个日龄雌雄成虫分别测试 15 头。

1.3.3 取食对苹小吉丁飞行能力的影响测定:用采集于野苹果林的新鲜野苹果叶片饲喂试虫至 3 日龄。苹果叶片叶柄用沾水的脱脂棉进行包裹防止水分迅速蒸发以保持叶片的新鲜程度,叶片每天更换一次。同时另一组成虫不饲喂任何食物作为对照。按 1.3.1 节的吊飞测试方法,对两组试虫进行吊飞测试,分析取食情况对苹小吉丁飞行能力的影响。取食组和对照组分别测定 30 头。

1.3.4 交配对苹小吉丁飞行能力的影响测定:将苹小吉丁雌雄成虫分为两组,第 1 组进行两两配对,时间为 1 ~ 2 d。第 2 组雌雄分开不进行交配。按 1.3.1 节的吊飞测试方法,对两组试虫于 6 日龄时进行测飞,测飞时间为 24 h。每个处理测试 15 头,分析交配情况对苹小吉丁飞行能力的影响。

1.4 数据分析

数据使用 Excel 2010 进行初步处理,运用 SPSS 17.0 对不同日龄苹小吉丁飞行能力各指标进行单因素方差分析(one-way ANOVA),同时对数据进行 Duncan 氏多重比较测定在 5% 水平下的差异显著

性。对不同交配和取食处理条件下苹小吉丁的飞行能力差异进行 *T* 检验。

2 结果

2.1 不同日龄苹小吉丁成虫飞行能力

对不同日龄苹小吉丁成虫的飞行能力进行了测定,由表 1 和表 2 可见:苹小吉丁雌虫各飞行指标均表现出随着日龄的增加先上升后逐渐下降的趋势,24 h 内平均飞行距离、平均飞行时间、最长飞行距离、最长飞行时间及最大飞行速度的峰值均出现于 11 日龄,分别为 0.387 km, 0.419 h, 0.4165 km, 0.4582 h 和 2.4639 km/h,而平均飞行速度的变化趋势稍有不同,最大值出现在 4 日龄,为 0.975 km/h。苹小吉丁 1 日龄雌成虫的各飞行指标均较低,平均飞行距离和平均飞行时间分别为 0.016 km 和 0.017 h,显著低于 7 日龄以上的成虫($P < 0.05$)。苹小吉丁不同日龄雄成虫各飞行指标与雌成虫的变化趋势较为一致,均随着日龄的增加先上升后降低,但稍有差异。平均飞行距离、平均飞行时间、最长飞行距离及最大飞行速度的峰值同样出现于 11 日龄,分别达到 0.301 km, 0.370 h, 0.3559 km 和 1.8561 km/h。平均飞行速度的最大值也出现在 4 日龄,达到 0.856 km/h。而最长飞行时间与雌虫不同,最大值出现在 9 日龄,为 0.4873 h。1 日龄雄成虫各飞行指标依然最低,平均飞行距离、平均飞行时间和平均飞行速度分别仅为 0.019 km, 0.010 h 和 0.595 km/h,且平均飞行距离和平均飞行时间显著低于 7 日龄以上的雄成虫($P < 0.05$)。

表 1 苹小吉丁不同日龄成虫平均飞行距离、时间和速度
Table 1 Average flight distance, duration and speed of different day-old adults of *Agrilus mali*

日龄 Day-old	平均飞行距离(km) Average flight distance		平均飞行时间(h) Average flight duration		平均飞行速度(km/h) Average flight speed	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
1	0.016 ± 0.009 e	0.019 ± 0.008 e	0.017 ± 0.001 d	0.010 ± 0.001 c	0.580 ± 0.055 b	0.595 ± 0.034 a
2	0.046 ± 0.002 de	0.038 ± 0.010 de	0.043 ± 0.001 d	0.049 ± 0.003 bc	0.631 ± 0.022 b	0.663 ± 0.068 a
3	0.047 ± 0.004 de	0.044 ± 0.004 de	0.048 ± 0.003 d	0.042 ± 0.002 bc	0.703 ± 0.082 b	0.620 ± 0.036 a
4	0.047 ± 0.007 de	0.042 ± 0.015 de	0.033 ± 0.001 d	0.031 ± 0.014 bc	0.975 ± 0.012 a	0.856 ± 0.211 a
5	0.060 ± 0.012 de	0.050 ± 0.011 de	0.082 ± 0.043 cd	0.065 ± 0.029 bc	0.704 ± 0.220 b	0.709 ± 0.235 a
6	0.124 ± 0.016 cd	0.090 ± 0.016 cde	0.158 ± 0.006 bc	0.142 ± 0.021 bc	0.710 ± 0.119 b	0.586 ± 0.021 a
7	0.169 ± 0.013 c	0.142 ± 0.036 c	0.190 ± 0.024 b	0.166 ± 0.075 b	0.747 ± 0.096 ab	0.799 ± 0.254 a
8	0.114 ± 0.017 cd	0.116 ± 0.009 cd	0.157 ± 0.006 bc	0.134 ± 0.034 bc	0.639 ± 0.111 b	0.732 ± 0.287 a
9	0.267 ± 0.040 b	0.212 ± 0.015 b	0.353 ± 0.030 a	0.337 ± 0.134 a	0.716 ± 0.108 b	0.767 ± 0.063 a
11	0.387 ± 0.026 a	0.301 ± 0.054 a	0.419 ± 0.033 a	0.370 ± 0.023 a	0.790 ± 0.024 ab	0.697 ± 0.061 a
13	0.253 ± 0.038 b	0.239 ± 0.025 ab	0.328 ± 0.045 a	0.313 ± 0.026 a	0.553 ± 0.053 b	0.538 ± 0.036 a
15	0.305 ± 0.082 b	0.258 ± 0.056 ab	0.355 ± 0.100 a	0.310 ± 0.065 a	0.693 ± 0.061 b	0.690 ± 0.051 a

同列数据(平均值 ± 标准差)后不同小写字母示差异显著($P < 0.05$, Duncan 氏多重比较)。Different small letters following the data (mean ± SD) in a column indicate significant difference ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

表 2 苹小吉丁不同日龄成虫最大飞行距离、速度和最长飞行时间

Table 2 The maximum flight distance, speed and duration of different day-old adults of *Agrilus mali*

日龄 Day-old	最长飞行距离 Maximum flight distance (km)		最长飞行时间 Maximum flight duration (h)		最大飞行速度 Maximum flight speed (km/h)	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
1	0.0276	0.0282	0.0191	0.0171	0.6314	0.6301
2	0.0483	0.0496	0.0457	0.0499	0.6569	0.7415
3	0.0515	0.0488	0.0512	0.0446	0.7512	0.6597
4	0.0559	0.0571	0.0347	0.0436	0.9879	0.9929
5	0.0678	0.0615	0.1079	0.0832	0.9597	0.9808
6	0.1351	0.1043	0.1629	0.1571	0.7828	0.6115
7	0.1815	0.1841	0.2175	0.2453	0.8477	1.0752
8	0.1315	0.1258	0.1621	0.1576	0.7689	1.0643
9	0.3028	0.2243	0.3791	0.4873	0.8185	0.8415
11	0.4165	0.3559	0.4582	0.3704	2.4639	1.8561
13	0.2956	0.2621	0.3795	0.3419	1.1816	0.8783
15	0.3908	0.3235	0.4489	0.3625	1.1824	1.0859

2.2 取食对苹小吉丁飞行能力的影响

饲喂野苹果叶片的苹小吉丁雌雄成虫的平均飞行距离和平均飞行时间均显著高于未取食成虫。经过取食的苹小吉丁雌雄成虫的平均飞行距离分别为 0.047 和 0.044 m,而未取食的雌雄成虫分别为 0.016 和 0.013 m,差异显著 ($t = 24.020, t = 17.759; df = 28; P < 0.05$);经过取食的雌雄成虫平均飞行时间依次为 0.048 和 0.042 h,而未取食的雌雄成虫仅分别为 0.013 和 0.012 h,且差异显著 ($t = 62.749, t = 48.684; df = 28; P < 0.05$);从平均飞行速度来看,经过取食的雌雄成虫平均飞行速度分别为 0.703 和 0.620 km/h,未取食的雌雄成虫平均飞行速度分别为 0.590 和 0.576 km/h,经过取食的雌雄试虫平均飞行速度更快,且经 T 检验发现两者之间差异也达到显著水平 ($t = 5.694, t = 3.188; df = 28; P < 0.05$) (图 1)。

2.3 交配对苹小吉丁飞行能力的影响

从图 2 中可以看出,苹小吉丁 6 日龄雌成虫交配后的平均飞行距离、平均飞行时间和平均飞行速

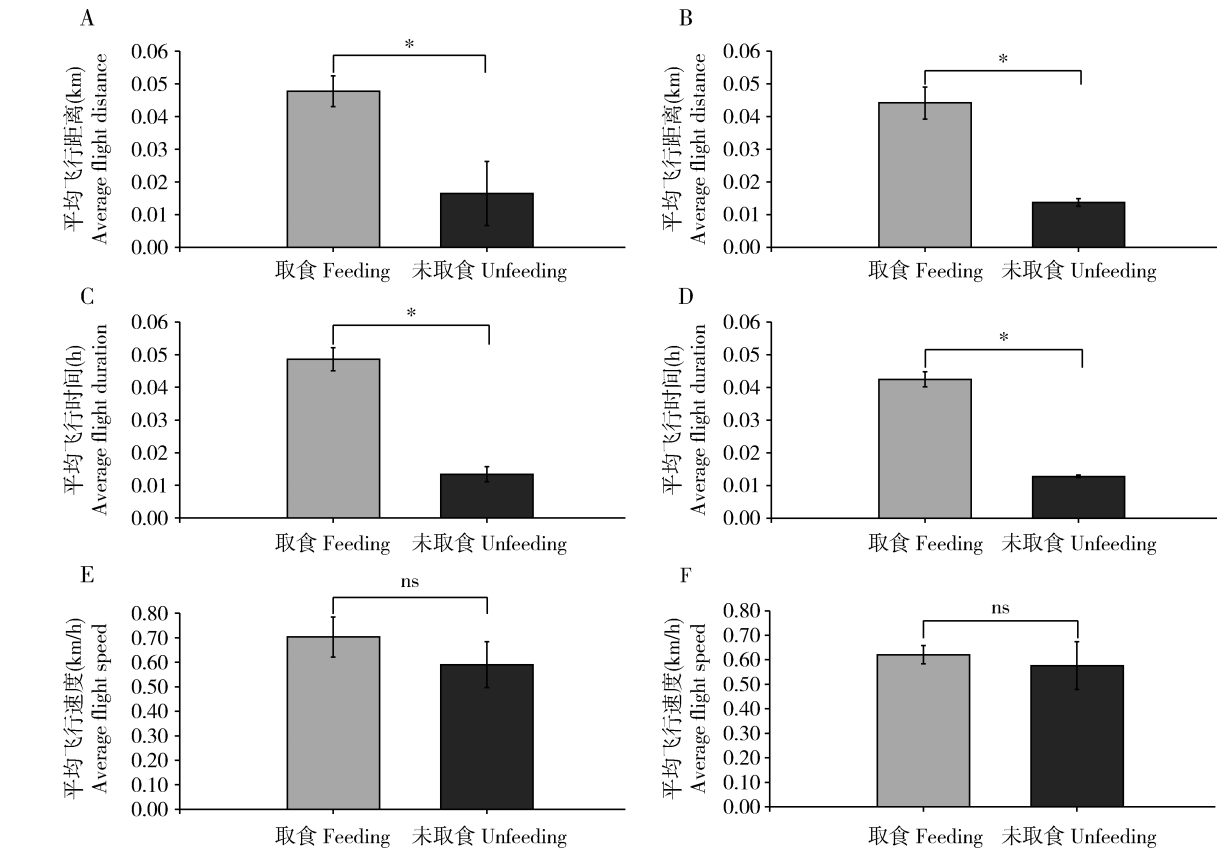


图 1 取食对苹小吉丁 3 日龄成虫平均飞行距离、时间和速度的影响

Fig. 1 Effects of feeding on the average flight distance, duration and speed of the 3-day-old adults of *Agrilus mali*
A, C, E; 雌成虫 Female adult; B, D, F; 雄成虫 Male adult. 图中数据为平均值 $\pm$ 标准差; 星号和 ns 分别表示差异显著 ($P < 0.05$) 和不显著 ($P > 0.05$) (T 检验). Data in the figure are mean $\pm$ SD, and the asterisk and ns indicate significant difference ($P < 0.05$) and no significant difference ($P > 0.05$), respectively, by T -test. 图 2 同 The same for Fig. 2.

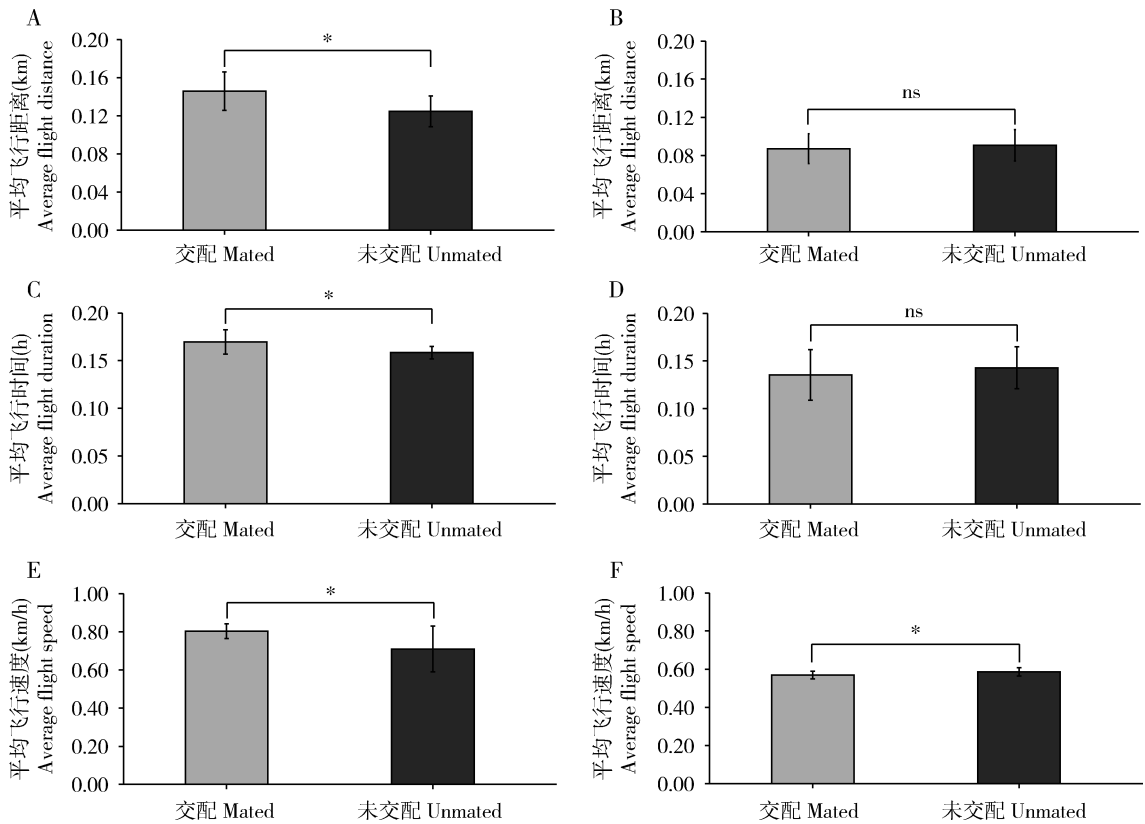


图2 交配对苹小吉丁6日龄成虫平均飞行距离、时间和速度的影响

Fig. 2 Effects of mating on the average flight distance, duration and speed of the 6-day-old adults of *Agrilus mali*

A, C, E: 雌成虫 Female adult; B, D, F: 雄成虫 Male adult.

度分别为0.145 km, 0.169 h和0.802 km/h,未交配的分别为0.124 km, 0.158 h和0.710 km/h,交配后雌成虫的各飞行指标稍高于未交配雌虫,且差异显著($t = 5.048$, $t = 4.660$, $t = 4.420$; $df = 28$; $P > 0.05$);苹小吉丁6日龄雄成虫交配后的平均飞行距离、平均飞行时间和平均飞行速度分别为0.087 km, 0.135 h和0.569 km/h,未交配的分别为0.090 km, 0.142 h和0.586 km/h,与雌虫的飞行能力不同,交配后的雄虫平均飞行距离和时间略低于未交配雄虫,但 T 检验结果表明两者之间只有平均飞行速度差异显著,其他两个指标间差异不显著($t = -0.897$, $t = -1.609$, $t = -2.589$; $df = 28$; $P = 0.377$, $P = 0.119$, $P = 0.015$)。

3 讨论

昆虫飞行能力的评价一般是在室内条件下通过使用相应的吊飞仪器即飞行磨对其飞行时间、速度和距离等指标进行测定,而昆虫的飞行能力通常会由于日龄、性别、交配状态等条件的不同而产生差异(武怀恒, 2006; 吴孔明等, 2006; 郭江龙等,

2016)。本研究结果表明,苹小吉丁的飞行能力随着日龄的增加表现出先上升后逐渐降低的趋势,初羽化的成虫飞行能力较弱,11日龄成虫的飞行能力达到最强(表1和2)。日龄对苹小吉丁成虫的飞行能力影响作用显著,可能是由于昆虫的飞行需要糖类和脂类等营养物质为其提供能量支撑,而不同日龄所积累的糖元和甘油三脂等物质质量的不同导致了飞行能力的差异,这在甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 和二点委夜蛾 *Athetis lepigone* 飞行过程对能源物质需求中已有报道(江幸福等, 2002; 郑作涛, 2014)。再如,初羽化的绿盲蝽 *Lygus lucorum* 成虫需要不断地补充营养来促进飞行肌的发育(Lu et al., 2007)。但是,鳞翅目昆虫舞毒蛾 *Lymantria dispar* 的飞行能力则表现不同,舞毒蛾成虫期不需要进行补充营养,初羽化的成虫飞行能力较强,随着日龄的增加飞行能力逐渐减弱(郭虹, 2012; 杨帆, 2013)。

成虫在饥饿状态下或长期营养不足时飞行能力会显著降低(张蕾等, 2006; 郭文超等, 2012),甚至幼虫期的营养状况也会对成虫期的飞行能力产生一定的影响(王凤英等, 2010; 李霞等, 2013)。本研究吊飞试验发现,取食对苹小吉丁的飞行能力产生

了显著的影响,饲喂苹果叶片的雌雄试虫飞行能力均高于未饲喂试虫(图 1),提示苹小吉丁成虫羽化后是否能够及时进行取食将决定其能否通过自身进行较远距离的飞行扩散。迁飞行为是昆虫选择生存环境的一种生态适应性表现,与其内在的生理条件如交配、产卵等具有一定的关联,且与雌虫的性状发育更为密切(武怀恒, 2006; 黄学飞等, 2010)。本研究还发现,苹小吉丁已交配雌虫的飞行能力更强,平均飞行距离、平均飞行时间和平均飞行速度均高于未交配雌成虫;已交配雄虫平均飞行距离、平均飞行时间和平均飞行速度均略低于未交配雄成虫(图 2)。与日龄和取食对苹小吉丁飞行能力的影响作用相比,交配情况对雄虫的影响作用稍弱(图 2),说明苹小吉丁的飞行能力主要受到日龄和取食的调控。由于苹果小吉丁发育时间不整齐,所以供试虫源获取较为困难,样本数量相对较少。在条件允许情况下可以继续补充虫源进行测试,以获取更精准的飞行数据。

昆虫的体型大小也会引起飞行能力的差异,花曲柳窄吉丁和绿盲蝽雌成虫的飞行能力要强于雄虫,就是因为雌虫的体型普遍大于雄虫(Lu *et al.*, 2007; 王辉等, 2015)。与同为吉丁科的杨十斑吉丁(孙栋等, 2014)和花曲柳窄吉丁(王辉, 2014)的飞行能力相比,苹小吉丁的飞行能力相对稍弱,可能是由于其体型较小、体重较轻,为飞行所提供的能量物质相对较少所致。因此,幼虫期饲喂食物的种类及不同取食量对苹小吉丁成虫体型大小、营养物质积累和飞行能力影响方面还值得深入研究。

参考文献 (References)

Cui XN, Liu DG, Liu AH, 2015. Research progress in integrated management of *Agrilus mali*. *Plant Prot.*, 41(2): 16 – 23. [崔晓宁, 刘德广, 刘爱华, 2015. 苹果小吉丁虫综合防控研究进展. 植物保护, 41(2): 16 – 23]

Ding JT, 2015. Flight Capacity and the Environmental Adaptation of *Carpomya vesuviana* Costa. MSc Thesis, Xinjiang Agricultural University, Urumqi. [丁吉同, 2015. 枣实蝇飞翔能力及其对环境因子的适应性研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文文]

Ding JT, Adili S, Zhu HF, Yu F, Alimasi, Luo L, 2014. Flight capacity of adults of the ber fruit fly *Carpomya vesuviana* (Diptera: Tephritidae). *Acta Entomol. Sin.*, 57(11): 1315 – 1320. [丁吉同, 阿地力·沙塔尔, 主海峰, 喻峰, 阿里玛斯, 罗浪, 2014. 枣实蝇成虫飞行能力的测定. 昆虫学报, 57(11): 1315 – 1320]

Guo H, 2012. Study on the Adult Monitoring and Flight Capacity of *Lymantria dispar* (Linnaeus). MSc Thesis, Beijing Forestry

University, Beijing. [郭虹, 2012. 舞毒蛾成虫监测及其飞行能力研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文文]

Guo JL, Fu XW, Zhao XC, Wu KM, 2016. Preliminary study on the flight capacity of *Agrotis segetum* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Environ. Entomol.*, 38(5): 888 – 895. [郭江龙, 付晓伟, 赵新成, 吴孔明, 2016. 黄地老虎飞行能力研究. 环境昆虫学报, 38(5): 888 – 895]

Guo WC, Tuerxun, Guo LN, He J, Xu JJ, 2012. Effects of different nutrients on flight capacity in Colorado potato beetles. *J. Xinjiang Agric. Sci.*, 49(3): 461 – 469. [郭文超, 吐尔逊, 郭利娜, 何江, 许建军, 2012. 营养对马铃薯甲虫迁飞能力的影响. 新疆农业科学, 49(3): 461 – 469]

Huang XF, Zhang XX, Zhai BP, 2010. Effect of copulation on flight capacity and remigration capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *J. Nanjing Agric. Univ.*, 33(5): 23 – 28. [黄学飞, 张孝義, 翟保平, 2010. 交配对稻纵卷叶螟飞行能力及再迁飞能力的影响. 南京农业大学学报, 33(5): 23 – 28]

Ji Y, Ji R, Huang RX, 2004. Invasive species – *Agrilus mali* Matsumura and damage in Xinjiang. *J. Xinjiang Agric. Sci.*, 41(1): 31 – 33. [季英, 季荣, 黄人鑫, 2004. 外来入侵种——苹果小吉丁虫及其在新疆的危害. 新疆农业科学, 41(1): 31 – 33]

Jiang XF, Luo LZ, Li KB, Cao YZ, Hu Y, Liu YQ, 2002. Influence of temperature on flight capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Entomol. Sin.*, 45(2): 275 – 278. [江幸福, 罗礼智, 李克斌, 曹雅忠, 胡毅, 刘悦秋, 2002. 温度对甜菜夜蛾飞行能力的影响. 昆虫学报, 45(2): 275 – 278]

Li ML, Zhang ZQ, 2017. Discussion on biology and life history associated with *Agrilus mali* Matsumura. *J. Northwest For. Univ.*, 32(4): 139 – 146. [李孟楼, 张正青, 2017. 苹果小吉丁虫的生物学及其生活史讨论. 西北林学院学报, 32(4): 139 – 146]

Li ML, Zhang ZQ, Chang Y, 2017. Addendum of biological characters of adult *Agrilus mali* Matsumura and rearing of larvae. *J. Northwest For. Univ.*, 32(6): 214 – 219. [李孟楼, 张正青, 常勇, 2017. 苹果小吉丁成虫生物学特性补遗和幼虫饲养. 西北林学院学报, 32(6): 214 – 219]

Li X, Xu XX, Han LZ, Wang M, Hou ML, 2013. Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *Acta Ecol. Sin.*, 33(14): 4370 – 4376. [李霞, 徐秀秀, 韩兰芝, 王沫, 侯茂林, 2013. 不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响. 生态学报, 33(14): 4370 – 4376]

Lu YH, Wu KM, Guo YY, 2007. Flight Potential of *Lygus lucorum* (Meyer-Dür) (Heteroptera: Miridae). *Environ. Entomol.*, 36(5): 1007 – 1013.

Sun D, Ding JT, Adili S, 2014. A study on flight capacity of *Melanophila picta* Pallas. *J. Xinjiang Agric. Univ.*, 37(3): 214 – 217. [孙栋, 丁吉同, 阿地力·沙塔尔, 2014. 杨十斑吉丁虫飞行能力的测定. 新疆农业大学学报, 37(3): 214 – 217]

Taylor RAJ, Bauer LS, Poland TM, Windell KN, 2010. Flight performance of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) on a flight mill and in free flight. *J. Insect Behav.*, 23: 128 – 148.

Wang FY, Zang XX, Zhai BP, 2010. Flight and re-migration capacity of

the rice leaffolder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae). *Acta Entomol. Sin.*, 53(11): 1265 – 1272. [王凤英, 张孝羲, 翟保平, 2010. 稻纵卷叶螟的飞行和再迁飞能力. 昆虫学报, 53(11): 1265 – 1272]

Wang H, 2014. Study on Flight Capacity of Emerald Ash Borer *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae) and Natural Control Effect of Woodpecker. MSc Thesis, Beijing Forestry University, Beijing. [王辉, 2014. 花曲柳窄吉丁飞行能力及啄木鸟自控效果的研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文]

Wang H, Xu ZC, Wang BD, Luo YQ, 2015. Potential flight capability of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae). *J. Beijing For. Univ.*, 37(1): 92 – 97. [王辉, 许志春, Wang BD, 骆有庆, 2015. 花曲柳窄吉丁潜在飞行能力初步研究. 北京林业大学学报, 37(1): 92 – 97]

Wang SL, 2006. The Design of Insect Flight Mill System and Insect Flight Ability Test System. MSc Thesis, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang. [王世磊, 2011. 昆虫飞行磨系统与昆虫飞行能力测试系统设计. 石家庄: 河北科技大学硕士学位论文]

Wu HH, 2006. Studies on Flight Potential and its Relationship with Reproduction in Pink Bollworm, *Pectinophora gossypiella* Saunders (Lepidoptera: Gelechiidae). MSc Thesis, Xinjiang Agricultural University, Urumqi. [武怀恒, 2006. 红铃虫的飞翔能力测定及其与生殖能力的关系研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学硕士学位论文]

Wu KM, Zhai BP, Feng HQ, Cheng DF, Guo YY, 2006. Radar observations on the migratory behavior of the second generation cotton bollworm moths in the north part of northern China. *Acta Phytophy. Sin.*, 33(2): 163 – 167. [吴孔明, 翟保平, 封洪强, 程登发, 郭予元, 2006. 华北北部地区二代棉铃虫成虫迁飞行为的雷达观测. 植物保护学报, 33(2): 163 – 167]

Yan XF, Zhang YL, Liu YH, Xiang WW, Kang FR, 2017. The risk analysis and managing countermeasures of *Agrilus mali* in Shaanxi province. *Plant Quar.*, 31(3): 46 – 52. [阎雄飞, 张彦龙, 刘永华, 相微微, 亢福仁, 2017. 苹果小吉丁虫在陕西省潜在危害性风险分析和管理对策. 植物检疫, 31(3): 46 – 52]

Yang F, 2013. The Study on Flight Ability among Different Geographic Populations of Asian Gypsy Moth, *Lymantria dispar* in China. MSc Thesis, Beijing Forestry University, Beijing. [杨帆, 2013. 亚洲型舞毒蛾中国不同地理种群飞行能力研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文]

Zhang L, Luo LZ, Jiang XF, Hu Y, 2006. Influences of starvation on the first day after emergence on ovarian development and flight potential in adults of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomol. Sin.*, 49(6): 895 – 902. [张蕾, 罗礼智, 江幸福, 胡毅, 2006. 一日龄饥饿对粘虫成虫卵巢发育和飞行能力的影响. 昆虫学报, 49(6): 895 – 902]

Zheng ZT, 2014. The Interaction between Flight Behavior and Reproduction of *Athetis lepigone* (Moschler). MSc Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. [郑作涛, 2014. 二点委夜蛾飞行与生殖的互作. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文]

(责任编辑: 赵利辉)